

**АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ  
БИНАРНОГО СООБЩЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГАУССОВСКИХ  
И НЕГАУССОВСКИХ ПОМЕХ**

*Д.В. Астрецов, Ю.А. Нифонтов, Р.И. Соколов*

(Екатеринбург, УрФУ, кафедра радиоэлектронных и телекоммуникационных систем  
ИРИТ-РТФ, dv\_astr@mail.ru)

**ANALYSIS OF POTENTIAL NOISE IMMUNITY BINARY SIGNAL EXTRACTION  
IN CONDITION OF GAUSSIAN AND NONGAUSSIAN NOISE**

*D.V. Astretsov, U.A. Nifontov, R.I. Sokolov*

Известно, что приём радиосигналов в условиях современного большого города затруднен наличием непреднамеренных радиопомех, вызванных излучением транспортных средств, технологических промышленных установок и источниками радио- и телевещательных сигналов, радиолокационных, радионавигационных и других радиоэлектронных средств. Основной особенностью таких помех по сравнению с естественными помехами является негауссовский характер законов распределения их мгновенных значений [1], тогда как плотность вероятности мгновенных значений естественных помех имеет гауссовский характер [2]. Несмотря на то, что в целом эффективность негауссовских помех ниже эффективности помех, имеющих гауссовское распределение [3], в условиях большого промышленного города интенсивность естественных помех искусственного происхождения значительно выше интенсивности естественных помех и по этой причине, как правило, намного опаснее последних.

Для сравнения опасности (при рассмотрении приёма и выделения информации) или эффективности (при анализе радиопротиводействия) непреднамеренных помех искусственного происхождения рассматривается потенциальная помехоустойчивость выделения элемента бинарного сообщения. Алгоритм принятия решения является оптимальным по критерию минимума полной вероятности ошибки (критерий “идеального наблюдателя” [4]) при полностью известном сигнале.

В качестве помехи рассматривается дискретный случайный процесс, имеющий распределение мгновенных значений Джонсона [5]. Поскольку реальные распределения непреднамеренных помех априорно известны, использованы помехи, имеющие одно из трех видов распределений Джонсона, выбор параметров которых позволяет сформировать достаточно широкий класс распределений, близких к распределениям реальных помех. Кроме того, выбор распределений группы Джонсона удобен тем, что процессы с такими распределениями могут быть сформированы нелинейными безинерционными преобразованиями нормальных случайных процессов, в данном случае дискретных.

Рассмотрим процесс формирования оптимального алгоритма выделения элемента дискретного сообщения при приёме суммы сигнала, несущего такое сообщение, и помехи, имеющей одно из распределений Джонсона.

Задача формирования алгоритма оптимального приёма видеосигнала в сумме с негауссовской помехой решается при следующих основных допущениях:

1. сигнал представляет собой последовательность видеоимпульсов положительной полярности, параметры которых (амплитуда, длительность, период следования, время прихода) известны за исключением сообщения  $\lambda(t)$ , принимающего значения 1 или 0 с априорно известными вероятностями  $P(1)=P(0)=0,5$ ;

2. помеха является последовательностью видеоимпульсов, совпадающих по времени с видеоимпульсами сигнала, имеющими закон распределения мгновенных значений Джонсона, её интенсивность велика, так что отношение импульсных мощностей одиночных сигналов и помехи намного меньше единицы, поэтому для надежного выделения информации используется накопление сигнала;

3. рассмотрено два варианта спектрально-корреляционных характеристик помехи – в одном случае она представляет собой белый шум, в другом является сравнительно медленным Марковским случайным процессом с известным коэффициентом корреляции отстоящих на период следования значений помехи;

4. в качестве критерия оптимальности используется критерий минимума среднего риска [4] при простой функции потерь, следовательно, в качестве оптимального правила решения может быть использован алгоритм максимума апостериорной плотности вероятности в виде отношения правдоподобия. При таком критерии оптимальный приём обеспечивает минимум полной вероятности ошибки.

Рассмотрим характеристики оптимального приемника сигнала при наличии аддитивной негауссовой помехи в случае малого отношения сигнал/помеха. Помеха представляется случайным процессом, который можно описать как результат некоторого безынерционного преобразования  $q(z_k)$  марковского гауссова процесса.

В результате математических преобразований можно получить выражение для логарифма отношения правдоподобия (1):

$$l_m = \ln \Lambda_m = \frac{1}{\sigma_z^2 (1 - R^2)} \sum_{k=0}^{m-1} [(Q(y_{k+1}) - Q(y_k)R)[s_{k+1}Q'(y_{k+1}) - s_kQ'(y_k)R] + \sum_{k=0}^{m-1} s_{k+1}\Phi(y_{k+1})] \quad (1)$$

Полученное выражение определяет схему приемника (рис. 1). На входе расположены три нелинейных преобразователя  $Q(y)$ ,  $Q'(y)$  и  $\Phi(y)$ . Сигнал с выхода сумматора поступает на решающее устройство (РУ), выдающее решение о значении принимаемого сообщения: “единица” при превышении  $l_m$  порога “ноль” при отсутствии превышения.

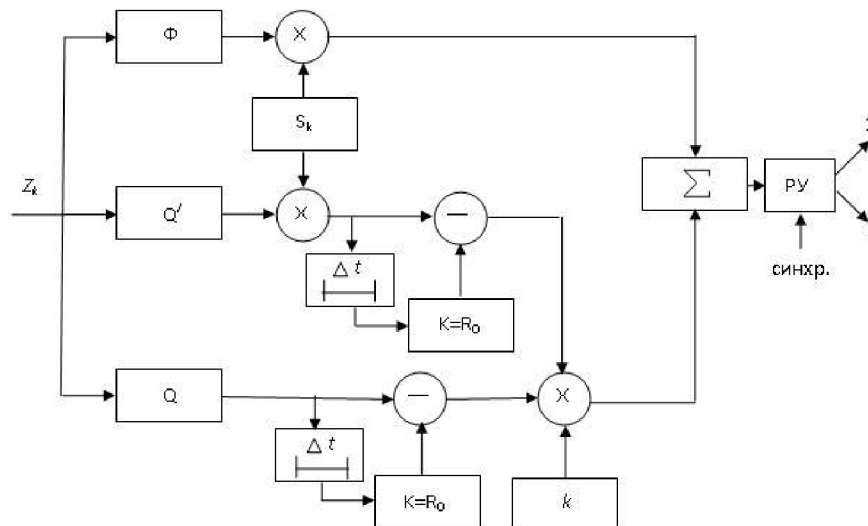


Рис. 1 – Структурная схема оптимального приёмника.

Для сравнения помехоустойчивости выделения рассматриваемого сообщения при действии негауссовских помех с помехоустойчивостью выделения его при гауссовских помехах проведен теоретический анализ и цифровое моделирование представленного выше оптимального способа приема. В последнем случае к сильной негауссовской помехе добавлялась относительно слабая гауссовская помеха в виде нормального белого шума, имитирующая внутренний шум приемника.

При решении поставленной задачи теоретическим путем найдена вероятность ошибки выделения сообщения при рассматриваемых негауссовских помехах. Приравняв её к вероятности ошибки выделения сообщения при гауссовской помехе и сравнивая требуемые значения отношения мощностей сигнала и помехи для каждой ситуации корреляционного анализа, можно получить значение проигрыша помехи с негауссовским распределением по отношению к гауссовской помехе.

### Основные выводы.

Анализ полученной схемы позволил получить результаты, характеризующие значения проигрышей в отношениях сигнал/шум для негауссовских помех по сравнению с гауссовскими для всех распределений Джонсона при некоррелированных и сильно коррелированных помехах.

Проведено цифровое моделирование полученной структурной схемы с дополнением смеси гауссовским шумом невысокого относительного уровня, имитирующим внутренний шум приёмника, всегда присутствующий на его входе.

В целом полученные результаты можно сформировать в следующем виде:

1. теоретический анализ доказал, что использование в качестве как коррелированной, так и некоррелированной помехи негауссовских процессов, имеющих законы распределения Джонсона приводит к проигрышу в мощности помехи, который может достичь 50 дБ, но может принимать значения в несколько децибел в зависимости от значений параметров распределений Джонсона и от степени коррелированности помехи (рис. 2);

2. при использовании выбранных параметров моделирования применение сильно коррелированной помехи приводит к проигрышу в её мощности по сравнению с некоррелированной при любых распределениях помех. Такой результат объясняется тем, что при коррелированной помехе эффективное число накапливаемых слагаемых с независимыми реализациями помехи меньше, чем при коррелированной (рис. 3);

3. добавление к негауссовской помехе гауссовского некоррелированного шума приводит к снижению проигрыша негауссовской помехи при небольших требуемых вероятностях ошибок (менее  $10^{-3}$ );

4. для реализации возможности повышения помехоустойчивости выделения сигнала при негауссовских помехах необходим большой объем априорных сведений о параметрах помехи и возможность формирования алгоритмов оптимальной или близкой к ней обработки с использованием априорной информации.

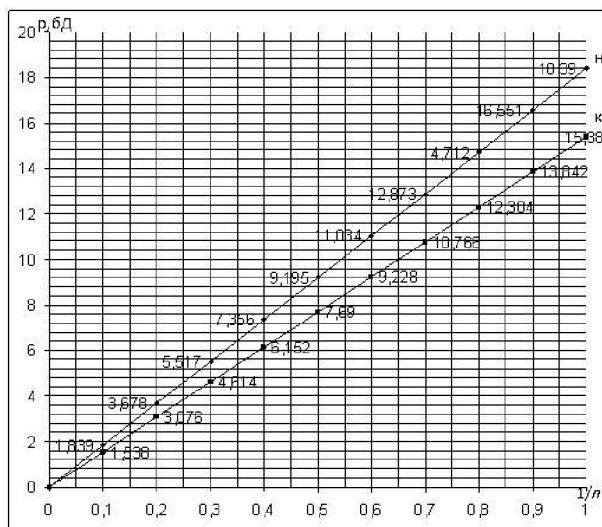


Рис. 2 – Выигрыш в отношении сигнал/шум  $S_L$  помехи.

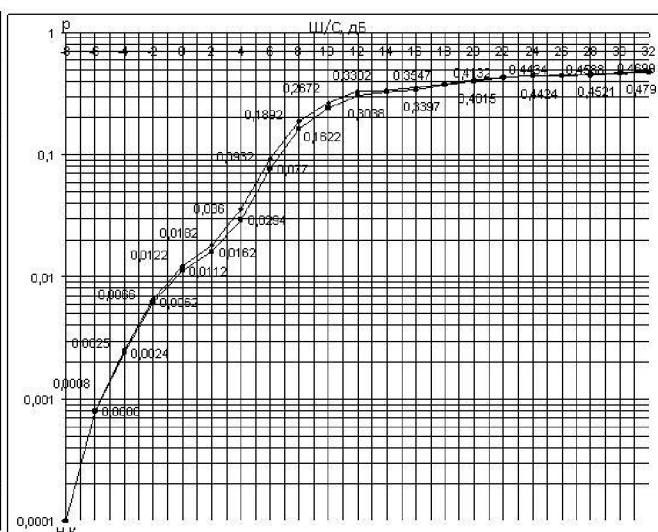


Рис. 3 – Зависимость вероятности ошибки приема от отношения  $S_L$  шум/сигнал.

### Литература

1. Князев А.Д., Пчёлкин В.Ф. Проблемы обеспечения совместной работы радиоэлектронной аппаратуры – М.: Советское радио, 1971 г., 200 стр.
2. Прокис Дж. Цифровая связь / пер. с англ.; под ред. Кловского Д.Д. – М.: Радио и связь, 2000 г.
3. Шеннон К. Работы по теории информации к кибернетике / пер. с англ.; под ред. Добрушина Р.Л. и Лупанова О.Б. – М.: ИЛ, 1963 г.
4. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах – М.: Советское радио, 1972 г.
5. Кендал М., Стьюард А. Теория распределений / пер. с англ. Сазонова В.В., Ширяева А.Н., под ред. Колмогорова А.Н., М.: “Наука”, 1966 г.